

Minct realiza 4ª Conferência Nacional sobre Ciência e Tecnologia

Luanda - O Ministério da Ciência e Tecnologia (Minct) realiza de 9 a 11 deste mês, em Luanda, a 4ª Conferência Nacional sobre Ciência e Tecnologia, a decorrer sob o lema "

TRATAMENTO ANAERÓBIO DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LACTICÍNIOS USANDO UM REACTOR UASB

Juliana Maria^{1*}, Anabela Leitão¹ e Ramiro Martins²

¹ LESRA – Laboratório de Engenharia da Separação, Reacção e Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Avenida Ho Chi Min nº 201, Luanda, Angola

² LSRE – Laboratory of Separation and Reaction Engineering, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

* Autor correspondente, E-mail: jsakosi@yahoo.com.br

A descarga de águas residuais sem tratamento nos ecossistemas aquáticos ainda é bastante frequente nos países em desenvolvimento. A aplicação de um reactor de leito de lamas de fluxo ascendente (*UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) apresenta-se como uma alternativa viável a ser adoptada, atendendo às características do efluente doméstico/industrial a tratar e necessidades económicas locais. Neste contexto, desenvolveu-se um estudo com uma tecnologia de tratamento anaeróbio usando um reactor UASB, analisando a sua eficácia relativamente à remoção de matéria orgânica e dos nutrientes azoto (N) e fósforo (P), avaliando a aplicação de diferentes cargas volumétricas, sob condições próximas das reais, numa instalação piloto laboratorial. O reactor UASB foi construído em PVC com configuração em "Y", usando um tubo cilíndrico com diâmetro interno de 110 mm, uma altura útil de 1300 mm e um volume útil de 12,35 litros; projectado para operar em estado estacionário a uma temperatura em torno de 35°C. Uma análise global dos resultados obtidos permitiu concluir que o desempenho do reactor UASB no tratamento do efluente da indústria de lacticínios foi satisfatório. Os resultados mais promissores, com eficiências de remoção de aproximadamente 76% de CQO, 79% de CBO₅, 88% de SST e uma produção de biogás de 41 L biogás/kg CQO, foram obtidos para operação do UASB com uma carga orgânica volumétrica de 4 kg CQO/m³.dia. O tempo de residência hidráulico adoptado de 12 horas conduziu a um bom desempenho, podendo por conseguinte considerar-se como um valor adequado no projecto de reactores similares no futuro.

Palavras-chave: Efluente de lacticínio, tratamento anaeróbio, produção de biogás, reactor UASB.

Abstract

The discharge of wastewater into water bodies is still quite common in developing countries. The application of the UASB (*UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) process is presented as a viable alternative to be used, given the characteristics of the domestic / industrial wastewater to be treated and local economic needs. Thus, this study was developed with an anaerobic treatment technology using an UASB reactor, analyzing its effectiveness in relation to the removal of pollutants and nutrients nitrogen (N) and phosphorus (P), evaluating the application of different volumetric organic loads under conditions similar to the real ones, in a laboratory pilot plant.

The UASB reactor shaping a "Y" was constructed with PVC, using a cylindrical tube with an internal diameter of 110 mm, a height of 1300 mm and a useful volume of 12.35 litres; it was designed to operate at steady state at a temperature around 35°C.

From a global analysis of the results obtained, it was concluded that the performance of UASB reactor to treat the wastewater from the dairy industry was satisfactory. The most promising results, with CQO removal efficiencies of approximately 76%, CBO₅ 79%, TSS 88% and production of biogas 41 L biogas/kg CQO were obtained from UASB operation with a volumetric organic load of 4 kg CQO/m³.day. The hydraulic residence time adopted of 12 hours, led to a good performance and can be considered as an adequate value in the design of similar reactors in the future.

Key-words: Dairy effluent, anaerobic treatment, biogas production, UASB reactor

INTRODUÇÃO

A água é um dos principais factores de desenvolvimento socioeconómico, de coesão social e de promoção ambiental, pelo que torna-se relevante a prevenção da poluição, proteção e a melhoria da qualidade da água na política de desenvolvimento sustentável. Neste âmbito torna-se relevante a adequação do planeamento do tratamento de efluentes domésticos/industriais e das infra-estruturas de saneamento básico ao alcance de todo o ser humano, visando a melhoria das condições ambientais e da saúde pública. Devido ao aumento do consumo de água, consequência do crescimento demográfico e industrial, a contaminação da água potável por descargas impróprias com quantidade significativa de resíduos sólidos concentrados, bem como uma elevada carga orgânica, causa destruição dos ecossistemas pela poluição hídrica o que origina um dos grandes problemas ambientais (Alves *et al.*, 2010).

A descarga de águas residuais sem tratamento nos recursos hídricos ainda é bastante frequente nos países em desenvolvimento, dada a deficiência na produção local de equipamento mecânico, bem como os custos económicos que uma unidade de tratamento de águas residuais implica, a que acresce a carência de recursos humanos qualificados nesta área. Assim, é imperioso o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de tratamento simples, que visam a minimizar os custos e a redução do consumo energético. A aplicação de um reactor anaeróbio de leito de lamas de fluxo ascendente (*UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) apresenta-se como uma alternativa viável a ser adoptada, atendendo às características do efluente doméstico/industrial a tratar e necessidades económicas locais (Cuetos *et al.*, 2008).

Neste trabalho é proposta uma tecnologia de tratamento anaeróbio usando um reactor UASB, analisando a sua eficácia relativamente à remoção da carga poluente e dos nutrientes Azoto (N) e Fósforo (P). O desempenho do reactor UASB é avaliado aplicando diferentes cargas volumétricas, sob condições próximas das reais, numa instalação piloto laboratorial.

PARTE EXPERIMENTAL

O trabalho focou-se na análise da viabilidade de aplicação do tratamento anaeróbio em reactor UASB, à temperatura ambiente, como única etapa do processo de tratamento do efluente industrial gerado na produção de leite pasteurizado da Lactiangol.

Numa primeira fase procedeu-se à concepção e montagem da instalação piloto laboratorial, posteriormente, iniciou-se o arranque do sistema e o acompanhamento da sua evolução com o tempo, para duas Cargas Orgânicas Volumétricas (COV) de 2 e 4 kg CQO/m³.d. No decurso dos ensaios experimentais, avaliou-se a eficiência do processo de tratamento, com especial atenção no que respeita à remoção da matéria orgânica presente no afluente alimentado ao reactor.

O reactor UASB com a forma de Y foi construído em PVC, usando um tubo cilíndrico de diâmetro interno de 110 mm, uma altura útil de 1300 mm e um volume útil de 12,35 litros; foi projectado para operar em estado estacionário. Na secção vertical tem uma entrada na parte inferior para alimentar o afluente e duas tomas de amostragem na parede. No braço lateral acoplou-se um tubo de diâmetro interno de 32 mm para saída do efluente tratado e no topo do reactor um tubo de cristal de

8 mm para recolha do biogás formado. A separação sólido/gás é alcançada através de um separador trifásico. O biogás era conduzido por um tubo e libertado para uma proveta invertida com água, onde o volume produzido foi quantificado em função do líquido deslocado. Para manter a temperatura do reactor em torno dos 35°C, de acordo com as condições operatórias exigidas, usou-se um banho termostático. Na Figura 1 apresenta-se o esquema e fotografia da instalação piloto que inclui o reactor UASB e respectivos componentes.

A colheita do efluente da Lactiangol foi feita no final da linha de produção de leite pasteurizado, e utilizaram-se recipientes de polietileno para o seu transporte e armazenamento. Antes da colheita, os recipientes foram lavados com o próprio efluente. Após a colheita, o material foi encaminhado para o LESRA.

O reactor UASB instalado no LESRA foi operado durante 122 dias, o que corresponde ao período entre Novembro de 2014 e Março de 2015.

Na Tabela 1 é apresentada a caracterização do efluente bruto recolhido na Lactiangol. As características da alimentação ao reactor e do efluente tratado na 2ª quinzena de Março de 2015 são ilustrados na Tabela 2.

Na Figura 2 é ilustrado o aspecto físico do afluente bruto, diluído bem como do efluente tratado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo teve como referência os valores limites de emissão estabelecidos pelo Decreto Presidencial nº 261/11 de 6 de Outubro, no que respeita à descarga de águas residuais industriais em cursos de água. Os parâmetros físico-químicos determinados foram: Alcalinidade, pH, CBO₅, CQO, Temperatura, ST, SST, SV, Azoto Total e Fósforo Total. Os valores obtidos permitem monitorizar o funcionamento do sistema e calcular a eficiência de remoção alcançada pelo reactor anaeróbio.

A observação destes dados permite concluir que o pH da alimentação se situou no intervalo 5,9 a 7,8 (valor médio de 6,8). No interior do reactor UASB os valores variaram entre um mínimo de 6,7 e um máximo de 7,94 (valor médio de 7,3), o que está de acordo com o referido na literatura (Myint *et al.*, 2007).

Os valores da alcalinidade no afluente (alimentação) variaram entre 110 a 397 mg/L CaCO₃. Já no reactor os valores estão compreendidos na faixa 145 a 710 mg/L CaCO₃. Em comparação com o valor definido para este trabalho, o sistema teve uma alcalinidade baixa, mostrando a variabilidade deste efluente. A gama desejável de alcalinidade, para um bom funcionamento da digestão varia entre 1000 a 4000 mg/L CaCO₃, porque o sistema apresenta altas concentrações de espécies alcalinas o que implica resistência à queda de pH quando um ácido é introduzido (Bitton *et al.*, 2005).

Do ponto de vista operacional, a alcalinidade obtida a partir do efluente da Lactiangol tinha concentrações elevadas de ácidos orgânicos voláteis e deveriam ser tamponadas a fim de evitar a queda substancial do pH devido ao alto nível de degradação do afluente, o que originou a obtenção de baixos valores de alcalinidade do sistema.

Os valores registados permitem afirmar que a temperatura se manteve aproximadamente constante, em torno de 35°C, e em concordância com as condições operatórias exigidas para este estudo.

Aos 66 dias de operação, a CQO do afluente ao reactor apresentou um valor médio de 2028 mg/L O₂, com um intervalo de variação entre 1996 e 2059 mg/L O₂. A corrente de saída registou um valor médio de 1133 mg/L O₂, variando entre 1782 e 484 mg/L O₂, para uma carga orgânica volumétrica (COV) de 4 kg CQO/m³.d.

Os resultados referentes à CQO da alimentação, bem como do efluente tratado, durante os 122 dias da experiência estão apresentados na Figura 3. Para a COV aplicada de 4 kg CQO/m³.d, a eficiência de remoção da CQO registou valores pouco interessantes, valor médio de 44% (intervalo de variação: 11 a 76%). De salientar que este valor médio é fortemente condicionado pela eficiência registada até aos 12 dias de operação (em torno de 10%), certamente resultado de este período ter sido insuficiente para a adaptação da população de microrganismos.

A concentração da CBO₅ do afluente ao reactor registou valores no intervalo 204 - 326 mg/L O₂ (CBO média de 265 mg/L O₂). O intervalo de variação da CBO₅ do efluente tratado foi de 34 a 56 mg/L O₂, com valor médio de 45 mg/L O₂ para uma COV de 2 kg CQO/m³.d. A sua eficiência de remoção foi de 83%.

Para uma COV de 4 kg CQO/m³.d, o intervalo de variação da CBO₅ do afluente ao reactor esteve entre 214 a 364 mg/L O₂ (valor médio de 289 mg/L O₂). Para este período, a CBO₅ do efluente de saída registou valores entre 31 e 83 mg/L (valor médio de 57 mg/L O₂). Os resultados relativos à Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅) registados para a alimentação e para o efluente tratado podem ser visualizados na Figura 4. Durante os primeiros 66 dias da experiência em que a COV aplicada foi de 4 kg CQO/m³.d, os valores mínimo e máximos da eficiência de remoção de CBO₅ foram de 69% e 89%, respectivamente, com uma média experimental de 79%.

No período inicial da experiência, para a COV de 4 kg CQO/m³.d, o intervalo de variação da concentração de SST na alimentação foi de 19 a 37 mg/L; este reduzido valor resulta de inicialmente o efluente bruto da Lactiangol ter sido diluído, de modo a ter uma alimentação ao reactor com características similares. O efluente tratado registou valores de SST que variaram entre 7 a 15 mg/L, a que correspondem eficiências de remoção entre 43% e 83%.

Ao aplicarmos uma carga orgânica volumétrica de 2 kg/m³.d, a concentração de sólidos suspensos totais desceu dos 19 mg/L da alimentação (intervalo de variação entre 12 e 27 mg/L) para um valor de saída em torno de 2 mg/L. Para essa concentração foi registada uma eficiência média de remoção de SST de 88% (variação entre 86%-89%). Na Figura 5, encontram-se representados os resultados da concentração dos sólidos suspensos totais (SST).

Face aos resultados obtidos, o reactor alcançou excelente eficiência de remoção quando operado com uma COV de 2 kg CQO/m³.d, o que é reflexo das baixas concentrações da alimentação.

Nadais *et al* (2005), em ensaios de digestão anaeróbia, usando um reactor UASB, para o tratamento de efluente de lacticínio, registou uma eficiência de remoção de 53%. Comparando este com resultados obtidos neste trabalho, podemos afirmar que foram melhores, uma vez que o efluente era diluído antes da alimentação, havia uma maior dispersão dos SST.

Os valores máximos registados para os sólidos totais e os sólidos voláteis dentro do reactor foram de 20305 a 12934 mg/L, respectivamente. Sendo que, os valores mínimos foram de 168 mg/L (ST) e 116

mg/L (SV), para uma COV de 2 kg CQO/m³.d. Para COV de 4 kg CQO/m³.d, a concentração de ST registou valores bem menores, o valor maior foi de 297 mg/L e o mínimo de 136 mg/L. Para os SV, foram registados valores de concentração de 166 mg/l (máximo) e 83 mg/L (mínimo).

Os elevados valores de ST e SV observados no 94º dia foram provavelmente resultado duma acumulação continuada de sólidos no interior do reactor, que dada a impossibilidade visual de observação conduziu a esta situação. Os resultados obtidos de ST e SV durante o período experimental encontram-se representados na Figura 6.

Verificou-se uma variação da razão SV/ST no intervalo 0,35 a 0,76, estando o valor médio desta razão em torno de 0,65. Este valor relativamente elevado está associado à predominância de matéria orgânica volátil nas lamas, o que é indicativo de uma significativa população de microrganismos responsáveis pelo processo de digestão anaeróbia.

Para uma COV de 2 kg CQO/m³.d, a concentração de azoto total variou entre 6 a 7 mg/L N para o afluente alimentado, sendo que no efluente tratado se registaram valores entre 3 a 4 mg/L N.

Com relação à COV de 4 kg CQO/m³.d, o intervalo de variação do azoto total do afluente alimentado está entre 3 a 10 mg/L N, com média experimental de 6 mg/L N. Para este período, o azoto total do efluente de saída está compreendida entre 2 e 9 mg/LN (valor médio de 5 mg/L N). Na Figura 7 encontram-se representados os resultados da concentração de azoto total na alimentação ao reactor e no efluente após tratamento anaeróbio.

As concentrações de azoto total no efluente tratado não variaram muito relativamente aos valores de entrada, concretamente para COV de 4 kg/m³.d (remoções entre 10 e 30%).

Na operação do reactor UASB com uma COV de 4 kg/m³.d, os valores da concentração de fósforo total na alimentação foram bastantes baixos (1 a 3 mg/L P), resultante da diluição efetuada inicialmente ao efluente bruto da Lactiangol. Foram neste caso alcançados valores no efluente de saída do reactor entre 0,4 e 2 mg/L, a que corresponde uma eficiência de remoção com variações significativas entre 33 e 60%.

Os resultados da concentração de fósforo total, quer na alimentação, quer no efluente de saída podem ser observados na Figura 8.

De registar que quando se utilizou uma COV de 2 kg CQO/m³.d, foram observados maiores valores de fósforo total na alimentação, o que se veio a traduzir em eficiências de remoção maiores e mais estáveis, entre 50 e 80%.

Os baixos valores na remoção de fósforo já eram esperados uma vez que a remoção de nutrientes não é característica do reactor UASB (Chernicharo *et al.*, 2007).

A produção de biogás durante os 122 dias do estudo experimental variou entre os 2 L biogás/kg CQO e os 41 L biogás/ kg CQO (média de 22 L biogás/kg CQO). O progresso da produção de biogás resultante no decurso da experiência está representado na Figura 9.

CONCLUSÕES

Uma análise global dos resultados obtidos permite concluir que o desempenho do reactor UASB no tratamento do efluente da indústria de lacticínios foi satisfatório.

A caracterização inicial da água residual da fábrica de laticínios permite concluir que este tipo de efluente apresenta elevada variabilidade e uma carga orgânica significativa.

Os resultados mais promissores, eficiência de remoção de aproximadamente 76% de CQO, 79% de CBO₅, 88% de SST e uma produção de biogás de 41 L biogás/kg CQO, foram obtidos para operação do UASB com uma carga orgânica volumétrica de 4 kg CQO/m³.dia. O tempo de residência hidráulico adoptado de 12 horas conduziu a um bom desempenho, podendo por conseguinte considerar-se como um valor adequado no projecto de reactores similares no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, C. (2010). *Tratamento de Águas de Abastecimento*. Publindústria Editora, 3ª edição, Porto.

Bitton G. (2005). *Wastewater Microbiology*. Applied and Environmental Microbiology. 3ª edition New York Wiley-Liss.

Chernicharo, C.A.L. (2007). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Reactores Anaeróbios, 2ª edição. Belo Horizonte, Brasil.

Cuetos, M.J. (2008) *Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale*. Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). Biochemical Engineering.

Decreto Presidencial nº 261/11 de 6 de Outubro *Diário da República* Nº 193 - 1ª Série de 6 de Outubro de 2011.

Myint, M. (2007). *Anaerobic fermentation of cattle manure*. Modeling of hydrolysis and acidogenesis. Water Research, Vol. 41, pág 323-332.

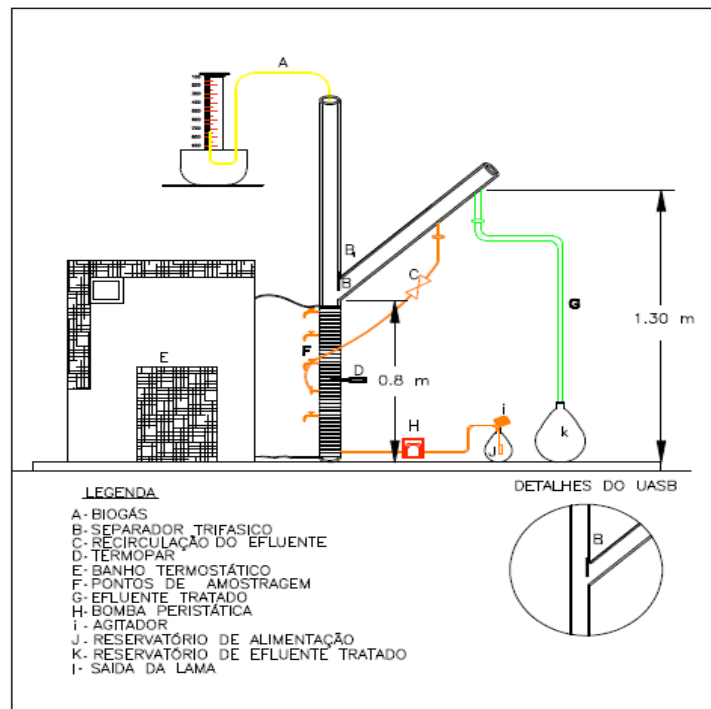
Nadaís, H. (2005). *Effects of organic hydraulic and fat shocks on the performance of UASB reactors with intermittent operation*. Tratamento Anaeróbio de Águas Residuais. Taller y Seminario Latino Americano.

Tabela 1 - Caracterização do efluente bruto da Lactiangol (Novembro de 2014 a Março de 2015).

| Parâmetro | Unidade | Mês (valor médio) | | | | |
|----------------------|---------------------------|-------------------|----------|---------|-----------|-------|
| | | Novembro | Dezembro | Janeiro | Fevereiro | Março |
| pH | Escala Sorensen | 7,6 | 7,7 | 7,5 | 7,3 | 7,5 |
| Temperatura | (°C) | 27 | 26 | 27 | 28 | 27 |
| Alcalinidade | (mg/L CaCO ₃) | 216 | 326 | 366 | 281 | 340 |
| CQO | (mg/L O ₂) | 18461 | 15388 | 1520 | 10020 | 14214 |
| CBO5 | (mg/L O ₂) | 6100 | 1703,5 | 2379 | 2130 | 4548 |
| SST | (mg/L) | 286 | 234 | 260 | 195 | 270 |
| Azoto Total | (mg/L N) | 26 | 36 | 15 | - | 27 |
| Fósforo Total | (mg/L P) | 17 | 8,6 | 13 | 22 | 68 |

Tabela 2 - Características da alimentação ao reactor e do efluente tratado no decurso do estudo experimental (18 e 24 Março de 2015).

| Parâmetro | Unidades | 18/03/2015 | | | 24/03/2015 | | |
|------------------------|---------------------------|------------|---------|-------|------------|---------|-------|
| | | Entrada | Reactor | Saída | Entrada | Reactor | Saída |
| pH | Escala Sorensen | 7,1 | 7,7 | - | 7 | 7,2 | - |
| Alcalinidade | (mg/L CaCO ₃) | 318 | 669 | - | 280 | 710 | - |
| CQO | (mg/L O ₂) | 994 | - | 217 | 1025 | - | 202 |
| CBO₅ | (mg/L O ₂) | 345 | - | 35 | 384 | - | 39 |
| SST | (mg/L) | 27 | - | 3 | 12 | - | 1 |
| ST | (mg/L) | - | 207 | - | - | 251 | - |
| SV | (mg/L) | - | 146 | - | - | 181 | - |
| Azoto Total | (mg/L) | - | - | - | - | - | - |
| Fósforo Total | (mg/L) | 4 | - | 2 | 6 | - | 1,5 |



(a)



(b)

Figura 1 - Reactor UASB e respectivos componentes: (a) *layout* da instalação piloto; (b) fotografia da instalação piloto.



Figura 2 - Aspecto físico do efluente e afluente: A - efluente tratado (saída), B - afluente diluído alimentado ao reactor e C - afluente bruto da Lactiangol.

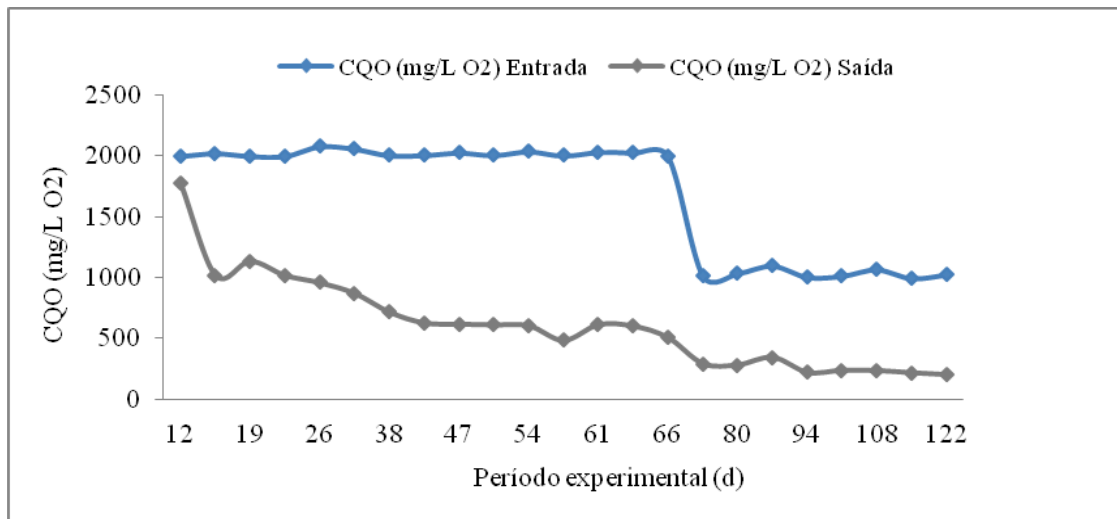


Figura 3 – Carência Química de Oxigênio do afluente e do efluente tratado ao longo do período experimental (do 12º a 66º dia, COV = 4 kg CQO/ m³.d e do 68º a 122º, COV = 2 kg CQO/ m³.d).

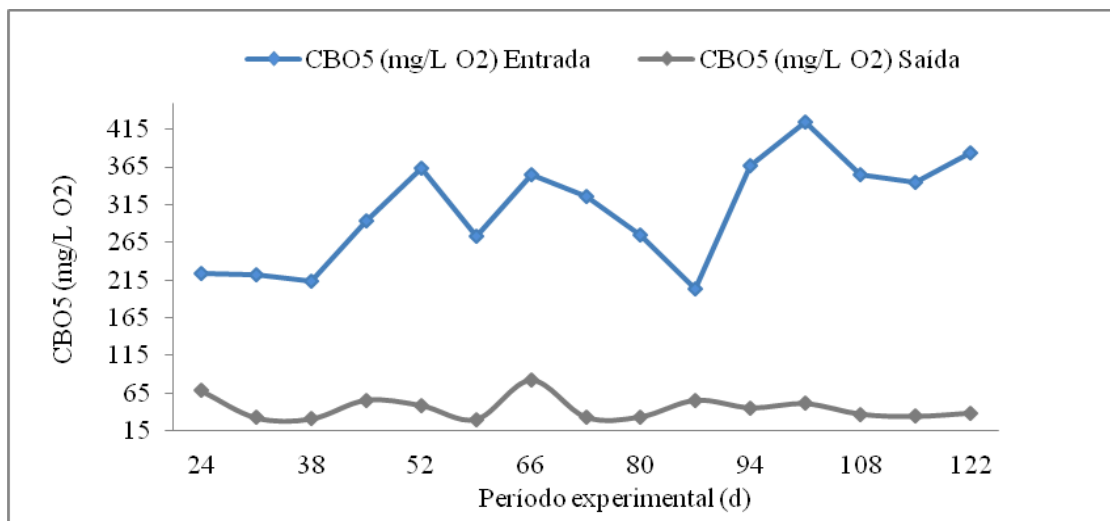


Figura 4 - CBO₅ do afluente alimentado (entrada) e do efluente tratado (saída) ao longo do período experimental (do 12º a 66º dia, COV = 4 kg CQO/ m³.d e do 68º a 122º, COV = 2 kg CQO/ m³.d).

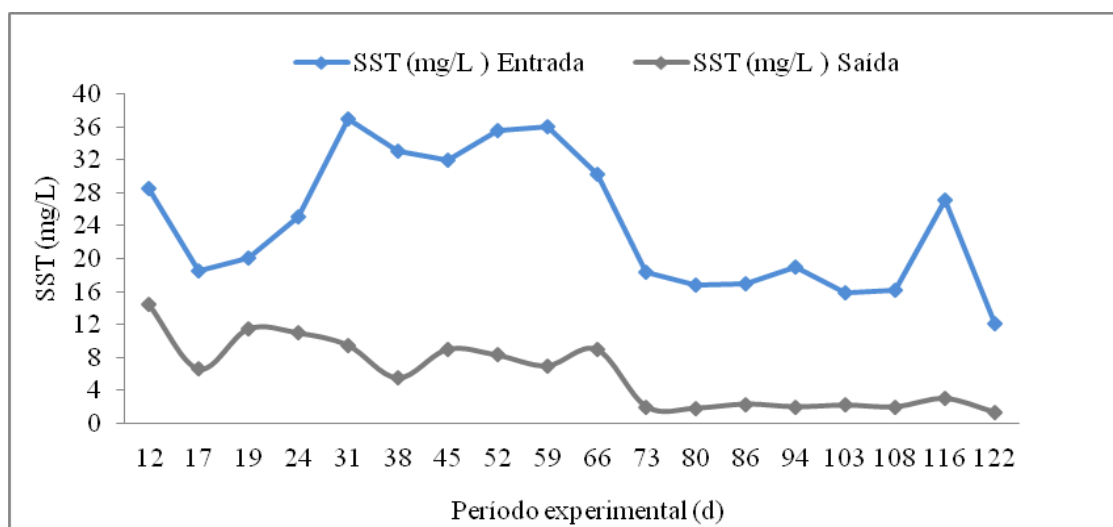


Figura 5 - SST do afluente alimentado (entrada) e do efluente tratado (saída) ao longo do período experimental (do 12º a 66º dia, COV = 4 kg CQO/ m³.d e do 68º a 122º, COV = 2 kg CQO/ m³.d).

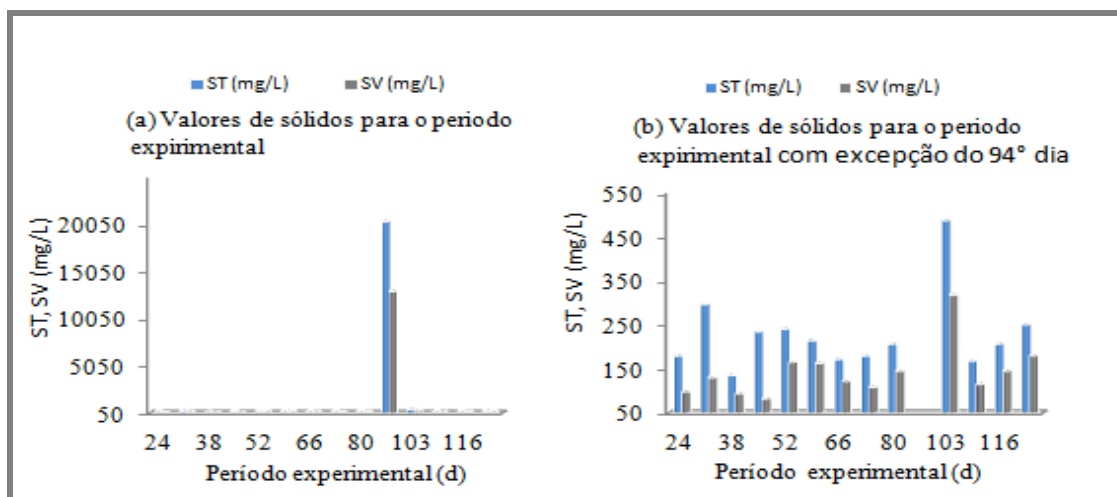


Figura 6 – Valores de ST e SV no reactor ao longo do período experimental (do 12º a 66º dia, COV = 4 kg CQO/ m³.d e do 68º a 122º, COV = 2 kg CQO/ m³.d).

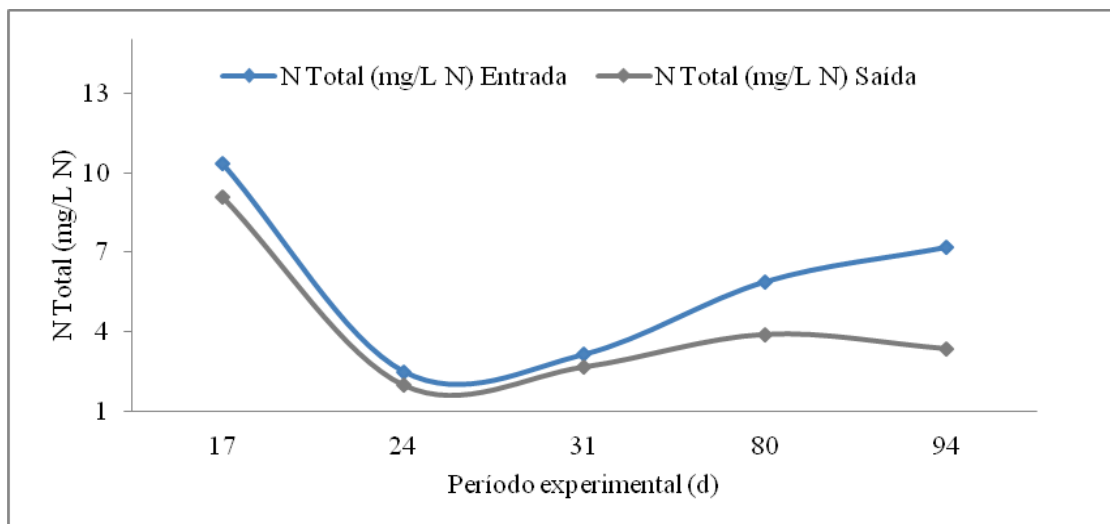


Figura 7 - Azoto Total do afluente alimentado e do efluente tratado ao longo do período experimental (do 12º a 66º dia, COV = 4 kg CQO/ m³.d e do 68º a 122º, COV = 2 kg CQO/ m³.d).

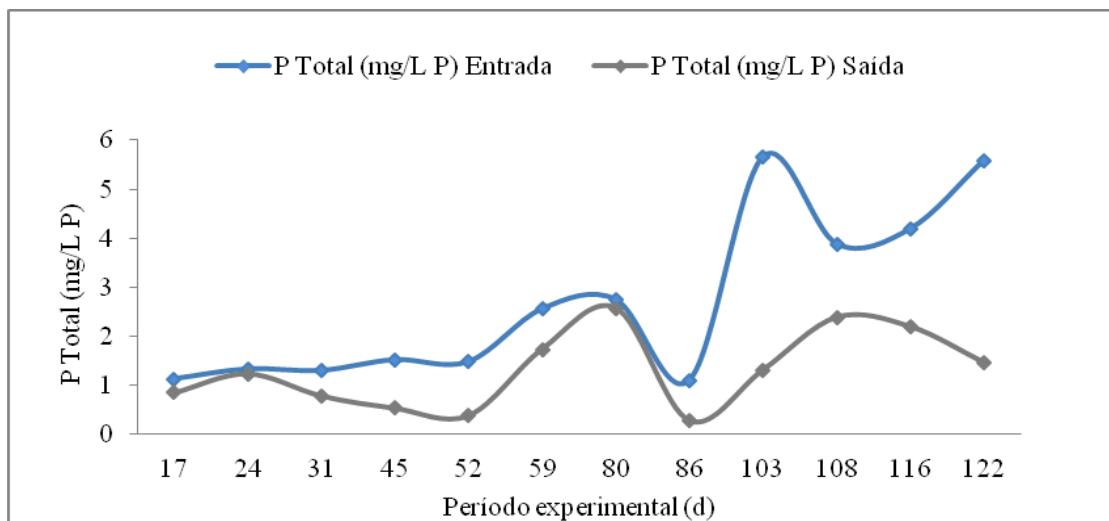


Figura 8 - Fósforo total do afluente alimentado e do efluente tratado ao longo do período experimental (do 12º a 66º dia, COV = 4 kg CQO/ m³.d e do 68º a 122º, COV = 2 kg CQO/ m³.d).

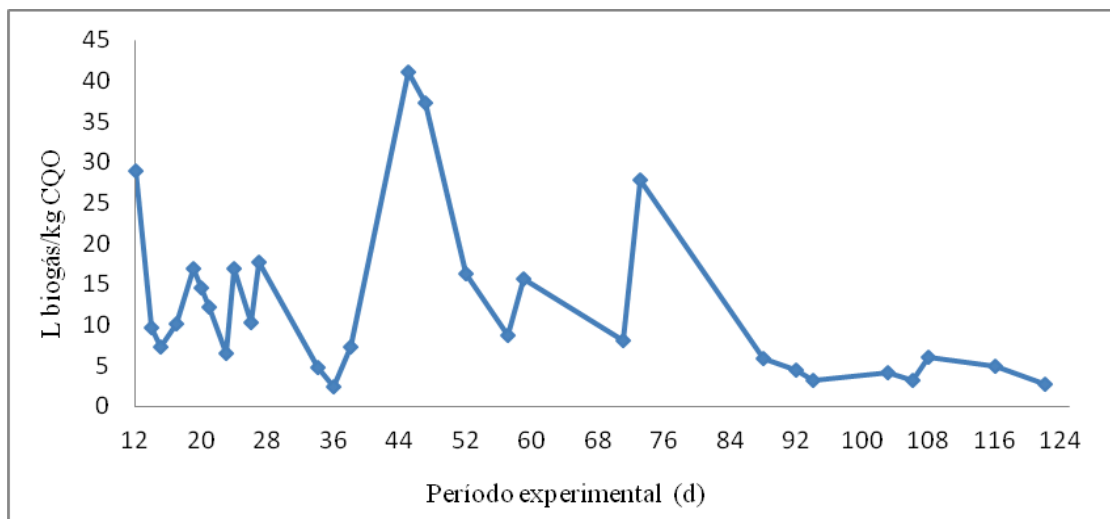


Figura 9 – Evolução da produção de biogás ao longo do período experimental (do 12º a 66º dia, COV = 4 kg CQO/ m³.d e do 68º a 122º, COV = 2 kg CQO/ m³.d).